

Aus dem Institut für Arbeitsphysiologie und Rehabilitationsforschung
der Universität Marburg
Direktor: Prof. Dr. med. G. Hildebrandt

Untersuchungen über die Koordination von Herzrhythmus
und arterieller Grundschwingung bei dosierter Körperarbeit mit
direkter und indirekter Bestimmung der Grundschwingungsdauer

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
im Fachbereich Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von
Wolfgang Nitschke
aus Wohrlau

Marburg 1976

Aus dem Institut für Arbeitsphysiologie und Rehabilitationsforschung
der Universität Marburg

Direktor: Prof. Dr. med. G. Hildebrandt

Untersuchungen über die Koordination von Herzrhythmus
und arterieller Grundschwingung bei dosierter Körperarbeit mit
direkter und indirekter Bestimmung der Grundschwingungsdauer

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
im Fachbereich Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von
Wolfgang Nitschke
aus Wohlau

Marburg 1976



Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am: 11.6.76

gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof. Dr. med. F. Neurath

Referent: Prof. Dr. med. G. Hildebrandt

Correferent: Prof. Dr. med. dent.

P. Bernhardt

Meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

I n h a l t

=====

I. Einleitung

II. Methodik

1. Versuchspersonen
2. Untersuchungsmethoden
 - a) Ergometer
 - b) Pulsregistrierung
 - c) Elektrokardiogramm
3. Versuchsanordnung
4. Auswertung
 - a) Direkte Bestimmung der Grundswingungsdauer
 - b) Indirekte Bestimmung der Grundswingungsdauer
 - c) Herzperiodendauer
 - d) Berechnete Größen
 - aa) Der Quotient aus Herzperiodendauer und direkt gemessener Grundswingungsdauer.
 - ab) Der Quotient aus Herzperiodendauer und indirekt gemessener Grundswingungsdauer.
5. Statistische Methodik

III. Ergebnisse

1. Das mittlere Belastungsverhalten der Meßwerte
2. Der Quotient aus Herzperiodendauer und Grunds-
swingungsdauer bei dosierter Körperarbeit

IV. Diskussion

1. Zur Methodik
 - a) Elektrokardiogramm
 - b) Sphygmogramm
 - c) Bestimmung der indirekt gemessenen Grund-
swingungsdauer

d) Ergometerarbeit

e) Grundschwingungsdauer und Pulswellenlaufzeit

2. Zu den Ergebnissen

a) Vergleich mit den Ergebnissen der Literatur

aa) Ruhebefunde

ab) Arbeitsbefunde

3. Bedeutung der Koordination von Herzrhythmus
und arterieller Grundschwingung.

V. Zusammenfassung

VI. Literaturverzeichnis

I. Einleitung

In letzter Zeit ist zunehmend beobachtet worden, daß verschiedene rhythmische Funktionen im Organismus im Hinblick auf ihre Frequenz- und Phasenbeziehungen mehr oder weniger streng koordiniert sind (HILDEBRANDT 1967).

Erstmals haben HILDEBRANDT u. Mitarb. im Jahre 1959 bei Längsschnittuntersuchungen während Bäder- und Klimakuren herausgestellt, daß Herzrhythmus und arterielle Grundschwingung in einem bevorzugt ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen und daß Störungen dieser Koordination therapeutisch beeinflußbar sind. Ebenso fanden GADERMANN u. Mitarb. (1961) bei Gesunden und Leistungssportlern, daß der Quotient aus Pulsperiodendauer und Dauer der arteriellen Grundschwingung in Ruhe bevorzugt bei dem ganzzahligen Wert von 2.0 liegt, bei Bradycarden auch den Wert von 3.0 einnehmen kann. Zu ähnlichen Ergebnissen kam MILLAHN (1962) bei Jugendlichen (16- bis 19-jährigen), wobei er ebenso wie GADERMANN u. Mitarb. (1961) feststellte, daß die Koordination bei Trainierten strenger ist. Tageslängsschnittuntersuchungen an Kreislaufgesunden ergaben, daß auch in Fällen, die während des Tages keine ganzzahlige Koordination aufweisen, diese in den frühen Nachtstunden vorübergehend wieder hergestellt wird (HILDEBRANDT u. KLEIN 1969).

Bei Arbeitsversuchen auf dem Fahrradergometer mit Pulsfrequenzen bis zu 180/min wurde nun ebenfalls eine ganzzahlige Koordination von Herzperiodendauer und Grundschwingungsdauer gefunden (MILLAHN u. ECKERMANN 1966). Dabei wurde jedoch zunächst nur die arterielle Grundschwingungsdauer an den Arterien der oberen Extremität gemessen, die um 20 - 25 % kürzer ist als die im Hauptsystem Herz-Fuß (Lit. Übersicht s. KLEIN 1969). Überdies konnten HILDEBRANDT u. KLEIN (1969) die Befunde von MILLAHN u. ECKERMANN (1966) nicht bestätigen. Neuerdings haben JUNGSMANN u. Mitarb. (1971) auch Arbeitsversuche mit Messung

der Koordination von Herzrhythmus und arterieller Grundschiwingung im Hauptsystem Herz-Fuß durchgeführt und aus den Ergebnissen auf eine verstärkte Tendenz wurden aber nur mit einer einzigen Belastungsstufe (30 Watt Handkurbelarbeit im Liegen) vorgenommen, so daß eine eindeutige Aussage kaum möglich ist.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es deshalb, das Verhalten der Grundschiwingung im Hauptsystem Herz-Fuß und ihrer Koordination mit dem Herzrhythmus bei dosierter Körperarbeit systematischer zu untersuchen. Dabei interessierte, inwieweit der ökonomische Effekt, der durch die ganzzahlige Koordination von Herzrhythmus und Grundschiwingung erreicht wird (MILLAHN 1966; ECKERMANN 1969; HILDEBRANDT 1970), nicht nur im trophotrop, sondern auch im zunehmend ergotrop eingestellten Organismus erhalten bleibt. Zugleich sollte dabei die neuerdings von DUPONT u. HILDEBRANDT (1971) empfohlene Methode zur indirekten Bestimmung der arteriellen Grundschiwingungsdauer aus der Pulswellenlaufzeit Herz-Fuß auf ihre Brauchbarkeit getestet werden, da diese gerade während körperlicher Arbeit ein weniger störungsanfälliges Meßverfahren darstellt.

II. Methodik

=====

Bei im Sitzen ausgeführter Handkurbelarbeit wurde an gesunden männlichen Versuchspersonen das Verhalten der arteriellen Grundschrwingung mit direkter und indirekter Methode verfolgt und ihre Beziehung zum Herzrhythmus untersucht.

1. Versuchspersonen

Hierbei handelte es sich um 118 Bundeswehrsoldaten ⁺⁾ im Alter von 17,5 bis 23 Jahren, die der Orthopädischen Klinik Hessisch Lichtenau zur ambulanten Behandlung überwiesen waren. Sie stellten sich uns freiwillig zur Verfügung. Eine kurze Anamnese sowie eigene Blutdruckmessungen ergaben, daß es durchweg kreislaufgesunde Probanden waren, bei denen durch die abgeschlossene militärische Grundausbildung ein gewisser Trainingszustand vorausgesetzt werden konnte.

2. Untersuchungsmethoden

a) Ergometer

An einem Mehrzweckergometer (Hersteller: Firma Instrumenten Lode, Groningen/Holland), das als Fahrradergometer wie auch durch Kippen zur Handkurbelarbeit benutzt werden kann, arbeitete der sitzende Proband beidarmig mit möglichst konstanter Drehzahl (45 - 55 U/min). Die effektive Belastung ist bei diesem Ergometer weitgehend drehzahlunabhängig. Über eine elektromagnetische Bremse kann die Belastung stufenlos von 0 - 200 Watt (W) reguliert werden.

⁺⁾ Unserer besonderer Dank gilt Herrn Oberstabsarzt Dr. Schneider, Hessisch Lichtenau, für die Unterstützung bei der Organisation dieser Untersuchungen.

b) Pulsregistrierung

Ein kapazitiver Infraton - Pulsabnehmer (System BOUCKE - BRECHT 1952), mittels einer 3 cm breiten Leinenmanschette über der rechten A. dorsalis pedis angebracht, leitete die aufgenommenen Impulse über einen batteriebetriebenen Vorverstärker Typ Infraton G Sphygmograph, System BOUCKE - BRECHT (Hersteller: Firma H. Boucke, Tübingen) zu der Verstärker-Registriereinheit Helcoscripter He 86 (Hersteller: Firma Hellige, Freiburg i. Brsg.). Die Zeitkonstante des Gesamtsystems betrug 1,5 sec. Die Aufzeichnung erfolgte bei einer Papiergeschwindigkeit von 100 mm/sec.

c) Elektrokardiogramm

Das EKG wurde bipolar zwischen Stirnmitte und rechtem Bein bei Erdung über das linke Bein abgenommen. Die Elektroden an den Beinen waren mit feuchten Leinenkappen überzogen, die mit Hellige-Elektrodencreme bestrichen waren. Die Stirnableitung erfolgte mittels einer 1 cm Durchmesser großen Haftelektrode über ein Agar-Gelee getränktes Kontaktschwämmchen.

3. Versuchsanordnung

Alle Untersuchungen fanden zur gleichen Tageszeit, vormittags zwischen 8.00 und 12.00 Uhr in demselben Raum statt. Die Raumtemperatur schwankte maximal zwischen 23° und 25° Celsius. Die Probanden wurden von Sanitätskraftwagen ihrer Einheit in die Klinik gebracht, ohne daß sie an demselben Morgen eine Arbeit verrichtet hatten. Nach einer Ruhezeit von durchschnittlich 1 Stunde, die sitzend in unserem Warteraum verbracht wurde, setzte sich die Versuchsperson auf den ungepolsterten Stuhl vor das Ergometer. Dann wurden die EKG - Elektroden befestigt und der Verlauf der Arteria dorsalis pedis

markiert. Mit einer Leinenmanschette wurde dann der Pulsfühler so über die Arterie fixiert, daß es weder zu einer Unterdrückung noch zu einer Verzerrung des Pulses kam (vgl. GÄDERMANN u. JUNGEMANN 1964). Der Unterschenkel der Versuchsperson wurde dabei auf einem weiteren Stuhl gelagert und durch Sandsäcke gegen Torsionsbewegungen gesichert, während Vertikalbewegungen noch möglich waren. Bei Vorversuchen hatte sich nämlich gezeigt, daß bei völliger Bewegungseinschränkung des Fußes die durch die Kurbelarbeit bedingten Stauchungen auf den Pulsfühler übertragen werden können. Um Störströme zu vermeiden, wurde die Arbeit von dem Probanden in Handschuhen geleistet (vgl. Abb. 1).

Unter Ruhebedingungen wurden nun 5 Herzaktionen mit den dazugehörigen Fußpulsen registriert. Dann begann die Handkurbelarbeit bei einer Belastung von 10 Watt, wobei die Drehzahl auf 45 - 55 Umdrehungen/min zu halten war (vgl. auch ECKERMANN u. MILLAHN 1966). Nach etwa 3 Minuten wurde ein steady state erreicht (vgl. HOLLMANN 1952). Kurz vor Ende der 4. Arbeitsminute wurde bei gleichbleibender Arbeitsintensität eine weitere Registrierung von mindestens 5 Pulsen vorgenommen. Nach Abschluß der 4. Minute wurde die Belastung um 10 Watt gesteigert, während der Proband fortlaufend weiterarbeitete. Die nächste Registrierung folgte wiederum kurz vor Abschluß der 4. Arbeitsminute auf der neuen Belastungsstufe. In dieser Weise wurde die Arbeitsbelastung stufenweise bis zu 50 Watt gesteigert. Nach einer Gesamtarbeitszeit von 20 Minuten gaben viele Probanden diese 50 Watt subjektiv als nahezu ihr Leistungsmaximum an. Es folgte nun eine 4-minütige Erholungspause, an deren Ende eine weitere Registrierung stand.

4. Auswertung

a) Direkte Bestimmung der Grundswinung $T_{\text{Fuß}}$

Die Ausmessung der Entfernung zwischen Hauptmaximum

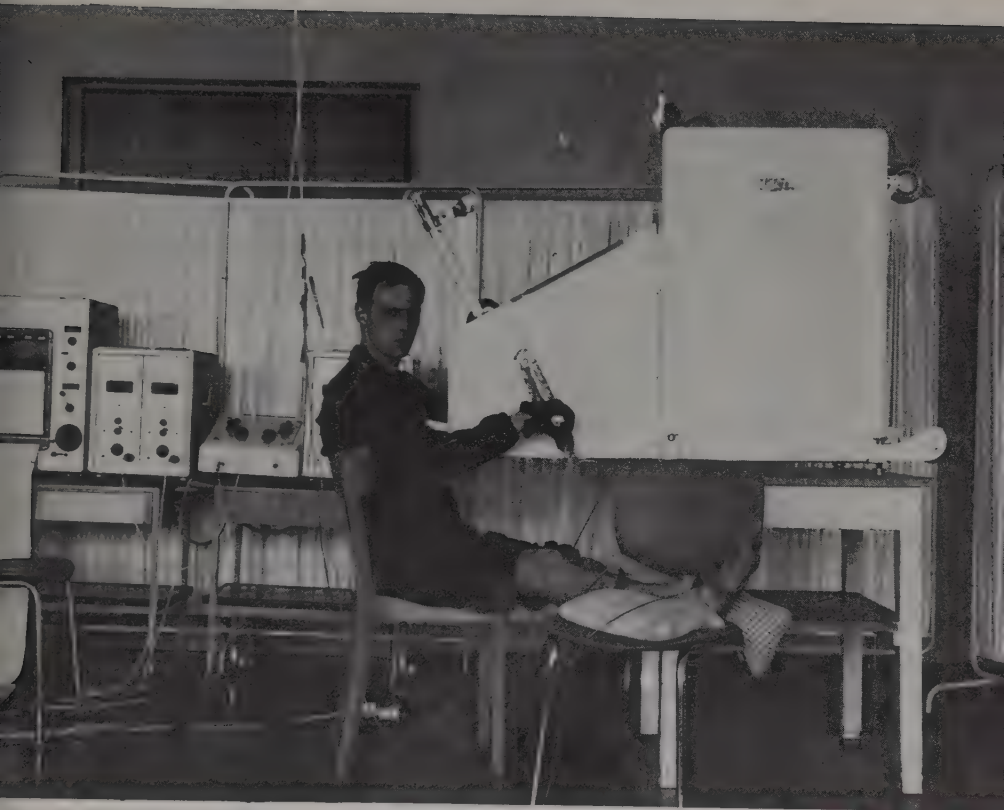


Abb. 1: Versuchsanordnung zur Untersuchung der Koordination von Herzrhythmus und arterieller Grundschwingung bei Handkurbelarbeit.

und Dikrotusgipfel der Pulskurve, die der Grundschwingungsdauer entspricht, erfolgte unter Zuhilfenahme einer Meßlupe auf 0,1 mm (= 1 msec) genau (s. Abb. 2a). Auf eine Tangentenkonstruktion zum Ausgleich des diastolischen Druckabfalls (KAPAL u. Mitarb. 1951 ; GADERMANN u. JUNGMANN 1964) wurde dabei verzichtet, weil diese am Fußpuls nicht erforderlich und bei Arbeitsbelastung auf wegen der beginnenden Dikrotuspfröpfung nicht sicher durchführbar ist (GADERMANN u. JUNGMANN 1964).

b) Indirekte Bestimmung der Grundswingungsdauer

Nach KAPAL u. Mitarb. (1951) sowie DUPONT u. HILDEBRANDT (1971) liegt der periphere Reflexionsort der Pulswelle im Bereich der Knöchelregion, so daß die Pulswellenauflaufzeit Herz - Fuß recht genau der halben Grundswingungsdauer entspricht. Nach dem Vorschlag von DUPONT u. HILDEBRANDT (1971) wurde die Zeit vom Austreibungsbeginn des Herzens bis zum Eintreffen der Pulswelle in der A. dorsalis pedis gemessen. Diese entspricht dem Zeitabstand von Beginn der Q - Zacke des EKG bis zum Steilanstieg der Fußpulskurve (s. Abb. 2 b) abzüglich der Anspannungszeit des Herzens (vgl. HOLLDAK 1951). Die Werte für die Anspannungszeit wurden den gleichzeitig laufenden Untersuchungen über die Herzdynamik von STREMPER (1971) entnommen.

c) Herzperiodendauer

Die Herzperiodendauer (τ) wurde aus dem EKG Abstand R - R der aufeinanderfolgenden Herzaktionen gemessen (Messgenauigkeit 0,1 mm = 1 msec).

d) Folgende Größen wurden rechnerisch ermittelt:

- 1) Der Quotient aus Herzperiodendauer und direkt gemessener Grundswingungsdauer (HILDEBRANDT u. Mitarb. 1959),
- 2) der Quotient aus Herzperiodendauer und indirekt ge-

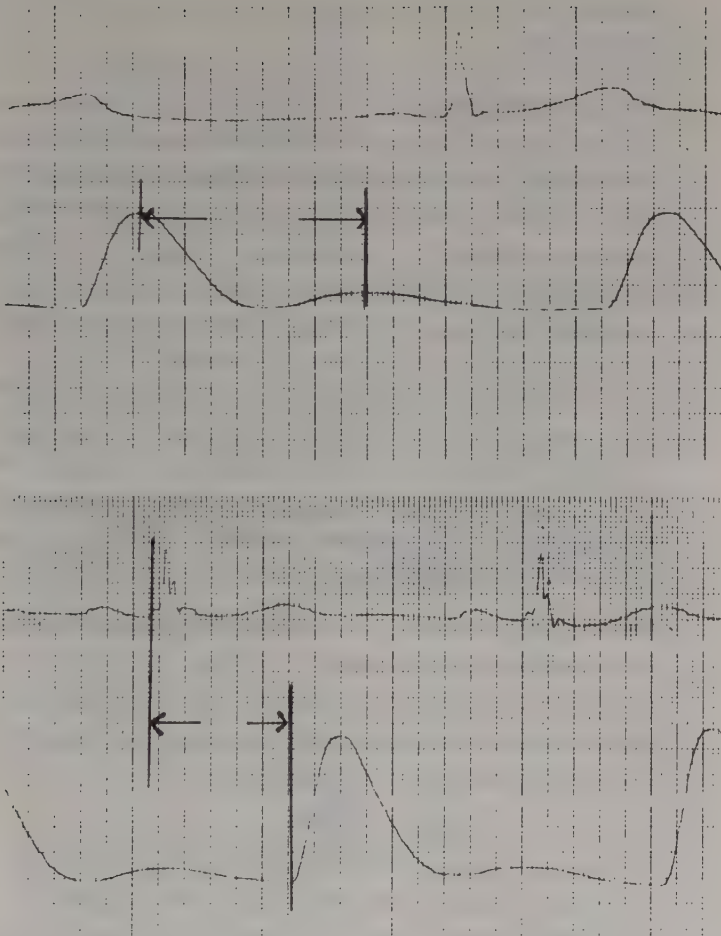


Abb. 2 a: Beispiel eigener Registrierung mit direkter Bestimmung der Grundschwingungsdauer.

Abb. 2 b: Beispiel eigener Registrierung zur indirekten Bestimmung der Grundschwingungsdauer. Die Anspannungszeit ist nicht berücksichtigt.

messener Grundschwingungsdauer (DUPONT u. HILDEBRANDT 1971).

5. Statistische Methodik

Bei Anwendung strengster Qualitätskriterien an die Pulskurven (vgl. JUNGMANN 1953 ; GADERMANN u. JUNGMANN 1964) sowie das EKG konnten von den insgesamt 118 Untersuchungen letztlich nur 21 bis zu einer Belastung von 20 Watt vollständig ausgewertet werden, während bis zur Endbelastung von 50 Watt bei beiden Verfahren in mehreren dieser Fälle auf die Auswertung verzichtet werden mußte.

Die Meßwerte wurden als arithmetisches Mittel aus je fünf aufeinanderfolgenden Herzperioden bestimmt. Auf die inter-individuellen Mittelwerte wurden arithmetisch gebildet.

Die Berechnung der Standardabweichung (σ) erfolgte nach der Formel

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}$$

wobei $\sum x^2$ die Summe der quadrierten Einzelabweichungen vom Mittelwert M beinhaltet.

Der mittlere Fehler des Mittelwertes (σ_M), der ein Maß für die Verbindlichkeit des Gesamtmittelwertes darstellt, wurde nach folgender Formel bestimmt:

$$\sigma_M = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Ob die Änderung der Mittelwerte während der Belastungsstufen zufällig oder wahrscheinlich ist, zeigt das Überschreiten der Signifikanzschranke an, das folgendermaßen geprüft wurde:

Die Differenz der fraglichen Mittelwerte

$$D = M_1 - M_2$$

wurde durch den mittleren Fehler dieser Differenz

$$\sigma_D = \sqrt{\sigma_{M_1}^2 + \sigma_{M_2}^2}$$

dividiert:

$$t = \frac{D}{\sigma}$$

und für den gewonnenen Quotientenwert t unter Berücksichtigung der Zahl der Freiheitsgrade der p -Wert der Student-Verteilung tabellarisch bestimmt.

Korrelationen wurden als Produktmomentkorrelationen nach Bravais - Pearson (HENRYSSON u. Mitarb. 1960) berechnet.

$$\text{Korrelations-Koeffizient } r_{x,y} = \frac{\sum (x - M_x)(y - M_y)}{n \sigma_x \sigma_y}$$

wobei $(x - M_x)$ bzw. $(y - M_y)$ die Abweichung der Einzelwerte zum zugehörigen Mittelwert, σ_x, σ_y die Standardabweichung und n die Zahl der Beobachtungen darstellen.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit (p) des Korrelationskoeffizienten wurde anhand der einschlägigen Tabellenwerte bestimmt (DOCUMENTA GEIGY 1968).

III. Ergebnisse

=====

1. Das mittlere Belastungsverhalten der Meßwerte

In Abb. 3 sind die mittleren Absolutwerte der direkt auf indirekt gemessenen Grundswingungsdauer sowie der Herzperiodendauer in Ruhe während der verschiedenen Belastungsstufen sowie nach der 4-minütigen Erholung dargestellt. Alle drei Meßgrößen fallen mit steigender Arbeitsbelastung erwartungsgemäß ab, um sich in der Erholung wieder dem Ausgangswert anzunähern. Dabei liegen die Mittelwerte der indirekt gemessenen Grundswingungsdauer (doppelte Laufzeit Herz - Fuß) in allen Bereichen deutlich höher als die der direkt gemessenen Grundswingungsdauer. Die mittleren Paarwertdifferenzen sind für alle Belastungsstufen mit den Ergebnissen der Signifikanzprüfung in Tabelle 1 zusammengestellt.

In Abb. 3 sind die Ordinaten für Herzperiodendauer und Grundswingungsdauer getrennt angegeben, und zwar so, daß sie im Verhältnis 2 : 1 stehen. Die Berührung der Kurve der Herzperiodendauer mit den Kurven der Grundswingungsdauer zeigt demnach an, daß der Quotient aus beiden Größen dem ganzzahligen Wert 2,0 entspricht. Nach diesem Kriterium ist aus Abb. 3 abzulesen, daß der in Ruhe etwas über 2 liegende mittlere Quotientwert bei 10 Watt Belastung bereits die ganzzahlige Grenze unterschritten hat, um sich mit steigender Belastung fortschreitend weiter davon zu entfernen. Erst in der Erholungsphase nähert er sich dem Wert 2 wieder an.

Die Art der Auftragung in Abb. 2 läßt darüberhinaus eine Aussage darüber zu, in welchem Verhältnis Herzperiodendauer und Grundswingungsdauer sich mit zunehmender Arbeitsbelastung verkürzen. Dabei wird deutlich, daß bis

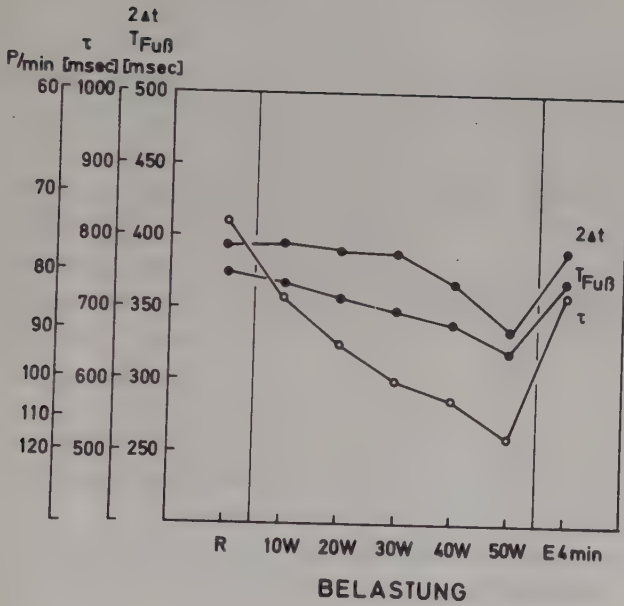


Abb. 3: Die mittleren Absolutwerte der direkt und indirekt gemessenen Grundswingungsdauer und der Herzperiodendauer.

$2\Delta t$: die doppelte Pulswellenlaufzeit Herz-Fuß
 $T_{Fu\beta}$: die partielle Grundswingungsdauer
 τ : Herzperiodendauer

Tabelle 1
=====

Belastung (Watt)	0	10	20	30	40	50	Erh.
n	21	21	21	21	19	17	21
Mittlere Paarwertdifferenz zwischen direkt und indirekt gemessener Grundschwingungs- dauer (msec)	- 20,40	- 21,00	- 34,2	- 30,81	- 28,32	- 4,52	- 20,68
	+ 8,37	+ 7,34	+ 8,52	+ 9,09	+ 7,91	+ 8,30	+ 10,72
p - Wert	0,0125	0,01	0,005	0,0025	0,0025	0,30	0,05

zu etwa 30 Watt Belastung die Verkürzung der Herzperiodendauer entsprechend der Steigerung der Herzfrequenz, besonders steil erfolgt, ohne daß die Grundswingungsdauer, insbesondere bei indirekter Messung, schon wesentlich verkürzt würde. Erst oberhalb von 30 Watt Belastung erreicht die Steilheit der Verkürzung bei der Grundswingungsdauer einen der Veränderung der Herzperiodendauer entsprechenden Grad.

Wie die in Tabelle 1 angegebenen Streuungswerte zeigen, waren die interindividuellen Niveauunterschiede bei allen drei Maßgrößen beträchtlich. So verlor z. B. der Ruheausgangswert der direkt gemessenen Grundswingungsdauer zwischen 328 und 459 msec, der der indirekt bestimmten zwischen 320 und 479 msec, und deshalb wurden für die Signifikanzprüfung sämtliche Meßwerte zum Ausgleich der Niveauunterschiede in Prozent des individuellen Ausgangswertes umgerechnet. Das Verhalten in Abhängigkeit von der Belastung stimmte aber im Prinzip gut überein.

In Tabelle 2 sind die gefundenen mittleren prozentualen Änderungen der Meßgrößen auf den verschiedenen Belastungsstufen zusammengestellt und auf ihre statistische Signifikanz geprüft. Dabei zeigt sich, daß die arterielle Grundswingungsdauer im Gegensatz zur Herzperiodendauer bei den niederen Belastungsstufen noch sehr gering abnimmt. Die Verkürzung der Grundswingungsdauer erreicht bei beiden Bestimmungsmethoden erst bei 30 Watt Belastung ein statistisch sicheres Ausmaß, obwohl dieses bei indirekter Meßmethode auch hier noch sehr gering ist. Damit wird erneut deutlich, daß hinsichtlich der Relation von Herzperiodendauer und Grundswingungsdauer mit zunehmender Belastung zwei verschiedene Bereiche zu unterscheiden sind: Ein unterer Belastungsbereich, in welchem sich die Herzperiodendauer mit relativ größerer Steilheit verkürzt als die Grundswingungsdauer, so daß schnelle Änderungen des Quotienten aus beiden

T a b e l l e 2

Direkt gemessene Grundschiwingungsdauer:						
Belastung (Watt)	0	10	20	30	40	50
M (% des Ruhewerts)	100	97,56	95,21	93,56	90,20	85,30
t	-	4,41	5,80	6,13	7,33	9,12
p - Wert	-	0,10	0,20	0,05	0,05	0,0005
Erholung						100,18

Indirekt gemessene Grundschiwingungsdauer:						
Belastung (Watt)	0	10	20	30	40	50
M (% des Ruhewerts)	100	99,9	99,7	99,68	94,70	86,42
t	-	6,16	7,62	8,37	9,07	8,72
p - Wert	-	0,49	0,47	0,05	0,05	0,0005
Erholung						100,27

Herzperiodendauer:						
Belastung (Watt)	0	10	20	30	40	50
M (% des Ruhewerts)	100	86,79	80,10	74,06	68,94	63,13
t	-	2,54	1,98	1,71	1,52	1,64
p - Wert	-	0,02	0,05	0,10	0,10	0,10
Erholung						87,71

Meßgrößen zu erwarten sind, und ein etwa von 30 Watt an beginnender oberer Belastungsbereich, in welchem die Verkürzung beider Parameter mit etwa gleicher relativer Steilheit erfolgt, so daß hier das Verhältnis zwischen Herzperiodendauer und arterieller Grundschwingungsdauer im wesentlichen konstant bleibt.

2. Der Quotient aus Herzperiodendauer und Grundschwingungsdauer bei dosierter Körperarbeit.

Abb. 4 zeigt zunächst das mittlere Verhalten des Quotienten aus Herzperiodendauer und arterieller Grundschwingungsdauer auf den verschiedenen Belastungsstufen, und zwar sowohl unter Verwendung der direkt gemessenen (oberer Abb.-Teil) als auch der indirekt bestimmten Grundschwingungsdauer (unterer Abb.-Teil). Während die Mittelwerte unter Ruhebedingungen etwas über dem Quotientenwert 2 liegen, tritt mit zunehmender Belastung eine fortschreitende Verminderung des Quotienten mit gleichzeitiger Streuungsverminderung ein. Diese erfolgt anfangs steiler und geht bei den höheren Belastungsstufen schließlich in einem mehr oder weniger abzissenparallelen Verlauf über, bei dem die Mittelwerte bei im ganzen abnehmender Streuung sich asymptotisch dem Quotientenwert 1,5 anzunähern scheinen. Dies ist besonders bei indirekter Bestimmung der Grundschwingungsdauer der Fall, wo auch die Ruheausgangswerte im Durchschnitt näher am ganzzahligen Quotientenwert 2,0 liegen, während bei direkter Bestimmung der Grundschwingungsdauer der ganze Kurvenverlauf zu höheren Quotientenwerten verschoben erscheint. Nach 4 min Erholungszeit haben sich die Quotientenwerte bei beiden Auswertungsverfahren bei gleichzeitiger Streuungszunahme wieder erhöht, die Ruheausgangswerte werden allerdings innerhalb dieser Zeit noch nicht wieder erreicht.

Wie schon die Streuung der Ruheausgangswerte in Abb. 4 erkennen läßt, waren die individuellen Ausgangswerte des Quotienten aus Herzperiodendauer und arterieller Grundschwingungsdauer in Ruhe sehr breit verteilt, wobei zwei Probanden mit ausgeprägter Bradycardie eine nähere Zuordnung zum ganzzahligen Wert von 3,0 als zum Wert 2,0 erkennen ließen (vgl. GADERMANN u. Mitarb. 1961).

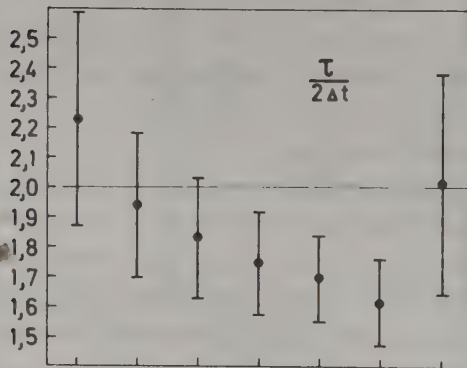
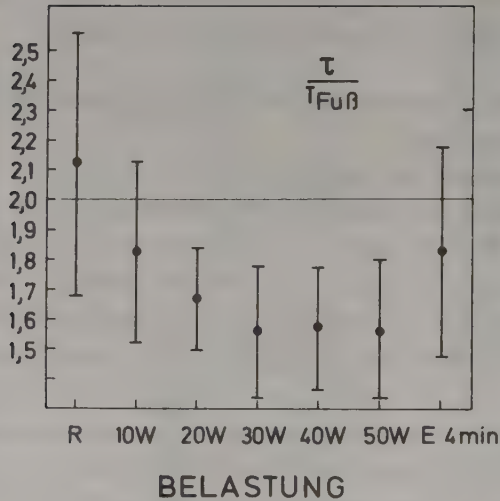


Abb. 4: Mittleres Verhalten des Quotienten aus Herzperiodendauer und arterieller Grundschwingungsdauer auf den verschiedenen Belastungsstufen bei direkter Messung (oben) und indirekter Bestimmung der Grundschwingungsdauer (unten). Die Klammern bezeichnen den Bereich der Streuung (G)

Zur näheren Beurteilung war es daher erforderlich, die Veränderungen bei den verschiedenen Belastungsstufen auch für die individuellen Quotientwerte im einzelnen zu untersuchen.

In Abb. 5 a und b sind daher die Häufigkeitsverteilungen der individuellen Quotientwerte für alle Belastungsstufen getrennt dargestellt, und zwar sowohl für die mit direkt gemessener als auch die mit indirekt gemessener Grundswingungsdauer bestimmten Quotienten. Bei beiden Verfahren läßt die Verteilung der Ruheausgangswerte eine mehr oder weniger ausgeprägte Häufung im Bereich des ganzzahligen Quotientwertes 2,0 erkennen, während sich 2 Werte im Bereich von 3,0 finden. Eine weitere Häufung im Bereich von 2,5 ist bei der ohnehin breiten Verteilung kaum sicher auszumachen.

Die vergleichende Betrachtung der Verteilung bei den zunehmenden Belastungsstufen, gerade auch unter Berücksichtigung beider Meßmethoden, läßt recht eindeutig erkennen, daß der in Abb. 4 gefundenen etwa exponentiell verlaufenden Verminderung der Quotientwerte eine recht gleichmäßig fortschreitende Verschiebung der ganzen Verteilung zugrundeliegt. Nirgendwo entsteht der Verdacht, daß die ganzzahlige Grenze von 2,0 eine besondere Konzentrationskraft auf die Einzelwerte ausübt. Wenn ein solcher Eindruck z.B. bei 10 Watt mit direkter Bestimmung des Quotienten (Abb. 5 a) entsteht, so läßt sich dieser bei Betrachtung der entsprechenden Ergebnisse mit indirekter Bestimmung des Quotienten nicht im geringsten aufrechterhalten.

Demgegenüber findet die Annahme, daß die mit Belastung fortschreitenden Veränderungen des Quotienten zu einer asymptotischen Annäherung der Werte an 1,5 führen, durch die nähere Untersuchung der Verteilungsformen eher eine Bestätigung. Bei beiden Untersuchungsverfahren schreitet die Verschiebung der Häufigkeitsverteilungen nicht über diesen Quotientbereich hin fort. Dieses Ergebnis wird auch dadurch noch unterstrichen, daß bei 4 relativ gut trainierten Versuchspersonen, die noch höhere Belastungsstufen (bis zu 80 Watt) erreichten, in keinem Falle niedrigere Quotientwerte als 1,45 gemessen wurden (vgl. Abb. 5 a und 5 b).

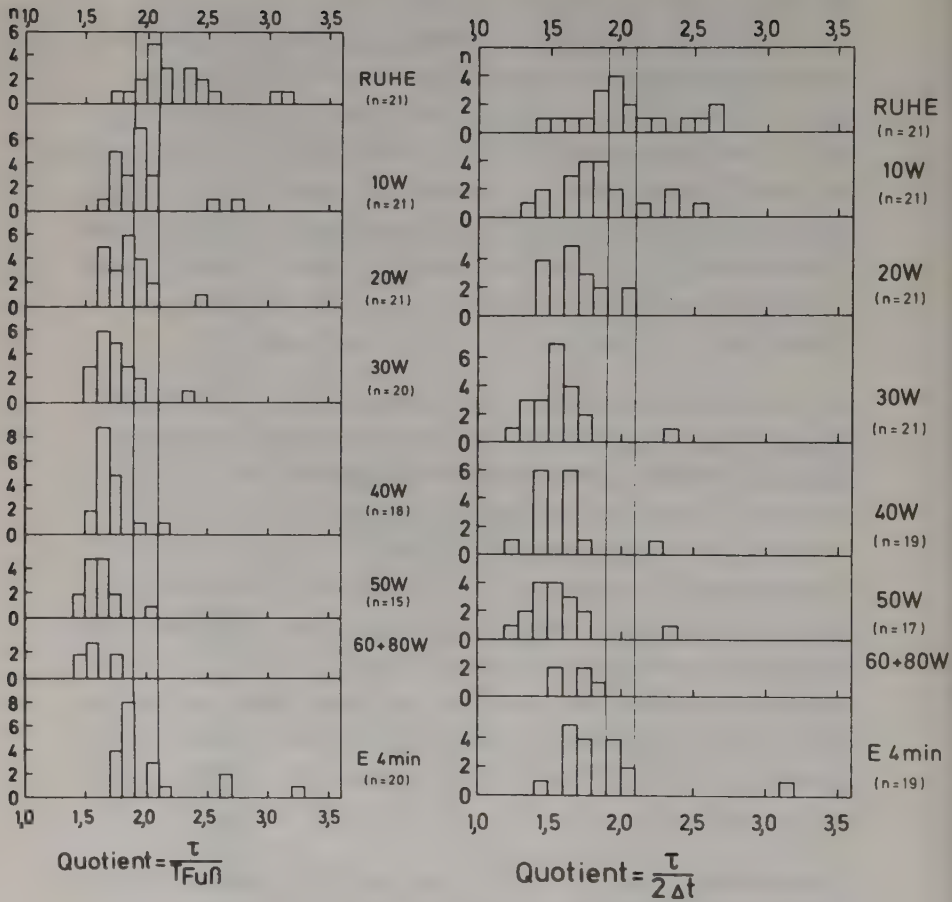


Abb. 5: Häufigkeitsverteilung des Quotienten aus Herzperiodendauer und artierler Grundschwingungsdauer auf den verschiedenen Belastungsstufen bei direkter Messung der Grundschwingungsdauer (Abb. 5a) und bei indirekter Bestimmung der Grundschwingungsdauer (Abb. 5 b).

IV. Diskussion

=====

1. Zur Methodik:

a) Elektrokardiogramm

Das EKG wurde bei diesen Untersuchungen während der Handkurbelarbeit geschrieben, wobei keine Verfälschungen durch Muskelaktionsströme entstehen durften. Eine weitere wesentliche Bedingung bestand darin, daß kennzeichnend für den Beginn des Kammerkomplexes eine deutliche Q - Zacke sichtbar war. Damit war gleichzeitig sichergestellt, daß sich zwischen gleichen Punkten zweier aufeinanderfolgender Herzaktionen die Pulsperiodendauer ohne Schwierigkeit ausmessen ließ. Diese Bedingungen erfüllte nach Vorversuchen am besten eine bipolare Ableitung von der Stirnmitte und dem linken Bein bei Erdung über das rechte Bein.

b) Sphygmogramm

Für die Pulsschreibung gibt es die Möglichkeit der Druck- und der Volumenpulsschreibung.

ba) Bei der Volumenregistrierung werden die Wandbewegungen der Arterie bzw. deren Volumenschwankungen z.B. durch eine der Arterienwand nahezu widerstandslos anliegende Membran einer Frank'schen Kapsel in Luftdruckänderungen übertragen, die dann in elektrische Stromschwankungen umgesetzt werden und registriert werden können.

Schon FRANK (1905) veröffentlichte Grundsätzliches über die Forderungen, die an ein solches Registriersystem zu stellen seien, wobei vor allem die Eigenfrequenz des Systems höher sein muß als die höchsten Schwingungsfrequenzen, die aufgezeichnet werden sollen, da sonst niederfrequente Schwingungen das Pulsbild verzerren.

bb) Zu den Pulsabnehmern, die den Druckverlauf in der Arterie aufzeichnen, gehört der von uns verwandte BOUCKE - BRECHT - Abnehmer, der aufgrund seines hohen Volumenelastizitätsmoduls den Volumenschwankungen der Arterie nicht folgen kann und über einen starren Fühler die Druckschwankungen auf einen elastisch deformierbaren Wickelkondensator überträgt, die dann über den Vorverstärker auf das Registriersystem gegeben werden können.

Bei diesem System kommt es bei der Registrierung im Gegensatz zum pneumatischen System der Frank'schen Kapsel zu keiner Zeitverzögerung der Aufzeichnung, jedoch ist die formgetreue Wiedergabe nur gewährleistet, wenn die Zeitkonstante, d.h. die Zeit, in der bei gleichbleibendem Druck auf den Pulsfühler ein Abfall der Amplitude um $\frac{2}{3}$ erfolgt, des gesamten Registriersystems mindestens 1,5 sec beträgt (GADERMANN und JUNGEMANN 1964).

Das Registriersystem umfaßt Pulsabnehmer, Vorverstärker und Verstärker-Registriereinheit, wobei die gesamte Abklingzeit des Systems immer kürzer ist als die kürzeste Abklingzeit der einzelnen Anteile des Systems.

Die Zeitkonstante unseres Gesamtsystems betrug ca. 1,5 sec und erfüllte damit die Voraussetzung für eine Beurteilung des Pulsform.

c) Bestimmung der indirekt gemessenen Grundswingungsdauer:

Bei diesen Untersuchungen war es auch technischen Gründen nicht möglich, während der Handkurbelarbeit Phonokardiogramm und Carotispuls zu schreiben, um den Beginn der Austreibungszeit des Herzens selbst zu bestimmen (BLUMBERGER 1942).

Einer parallel laufenden Untersuchungsreihe mit gleichen Arbeitsbedingungen von STREMPER (1971) an denselben Pro-

banden konnten die Werte der Anspannungszeit des Herzens für die entsprechenden Pulsfrequenzen entnommen werden.

d) Ergometerarbeit:

Der Proband saß in ungezwungener Haltung vor dem Ergometer, ohne daß seine Atmung beeinträchtigt wurde. Dabei befand sich der Mittelpunkt der Handkurbel etwa in Herzhöhe des Probanden, so daß die zusätzlichen hydrostatischen Einflüsse die Blutversorgung der Arme nur wenig behinderten. Bei einer Durchführung der Handkurbelarbeit im Liegen hätten sich die Arme des Untersuchten immer oberhalb des Herzens und auch des gesamten Körpers befunden. JUNGSMANN u. Mitarb. (1971) beobachteten bei einer solche Untersuchungsanordnung eine sehr schnelle Muskelermüdung, ohne dabei Pulsfrequenzsteigerungen in dem von uns erreichten Ausmaß zu erzielen.

Eine Tretkurbelarbeit, ob im Sitzen oder im Liegen, schloß sich für unsere Versuche a priori durch den Abnahmeort des Pulses an der Arteria dors. ped. aus.

e) Grundschwingungsdauer und Pulswellenlaufzeit:

Von wesentlicher Bedeutung für die Beurteilung der Koordination von Herzrhythmus und arterieller Grundschwingung ist die Bestimmung der Grundschwingungsdauer mit geringer Fehlerbreite, während eine genaue Messung von Herzperiodendauer respektive Pulsfrequenz bekanntlich ohne Schwierigkeiten möglich ist. Die Hauptschwierigkeit liegt darin, den dikroten Gipfel des Fußpulses zu erfassen und dem diastolischen Druckabfall Rechnung zu tragen, wofür verschiedene Hilfskonstruktionen angegeben wurden (KAPAL und Mitarb. 1951; GADERMANN und JUNGSMANN 1964). Bei den von uns registrierten Pulsfrequenzen bis zu 120/min tritt jedoch schon eine beginnende Dikrotuspfröpfung auf, die diese Hilfskonstruktionen aus Gründen der gleichartigen Ausmessung von Ruhe- und

Belastungsversuchen unmöglich machten.

Nach älteren Erfahrungen soll der periphere Reflexionsort der Pulswelle im Bereich des Fußes liegen, und zwar distal der Knöchel, so daß die Zeit der Pulswelle vom Herzen bis zu ihrem Eintreffen am Fuß ziemlich genau der halben Grundswingungsdauer entspricht (KAPAL 1951). Es wurde aber in neuerer Zeit festgestellt, daß die derart gemessene doppelte Pulswellenlaufzeit Herz-Fuß etwa um 5 % länger ist als die direkt gemessene Grundswingungsdauer, woraus zu schließen wäre, daß der periphere Reflexionsort nicht distal, sondern proximal der Knöchelregion liegt (DUPONT 1970; DUPONT u. HILDEBRANDT 1971).

Unsere Ergebnisse können die letztgenannten Erfahrungen nur bestätigen, indem wir fanden, daß die indirekt gemessene Grundswingungsdauer, d.h. die doppelte Pulswellenlaufzeit Herz-Fuß in Ruhe im Mittel um 5,1 % länger als die direkt gemessene Grundswingungsdauer ist (siehe Tabelle 1). Unsere in Abb. 3 dargestellten Erfahrungen zeigen allerdings, daß die Differenz zwischen den mit beiden Verfahren bestimmten Grundswingungsdauern unter der zunehmenden Arbeitsbelastung nicht unbedingt konstant blieb, sondern zunächst zunahm, um dann bei höherer Belastung wieder abzusinken. Dies läßt darauf schließen, daß der periphere Reflexionsort der Pulswelle unter der ergotropen Arbeitsumstellung gewisse Verschiebungen erfahren kann. Darüber hinaus waren auch die Korrelationskoeffizienten für die individuellen, mit beiden Verfahren bestimmten Grundswingungsdauern nicht mehr als mittelhoch (vgl. Tabelle 3).

Trotzdem sind wir der Meinung, daß die indirekte Bestimmung der arteriellen Grundswingungsdauer für die Beurteilung der Koordination zwischen Herzrhythmus und Grund-

T a b e l l e 3
=====

Der Korrelations-Koeffizient von direkt und indirekt gemessener Grundschwingungsdauer

Dir. - Indir.

Belastung (Watt)	R	10 W	20 W	30 W	40 W	50 W	Erh.
r	0,60	0,47	0,58	0,55	0,59	0,60	0,19
p. Wert	0,01	0,05	0,01	0,01	0,001	0,05 p	0,1

schwingung in Zukunft wegen der sicheren Messtechnik größere Bedeutung erlangen wird, zumindest bei Gefäß-
gesunden (vgl. dazu JUNG-MANN u. Mitarb. 1973). Die dazu
erforderliche Bestimmung des Beginns der Austreibungs-
zeit des Herzens ist gleichfalls mit einfachen physika-
lischen Methoden möglich und kann zudem mit hinreichen-
der Genauigkeit in Entsprechung zur Pulsfrequenz ge-
schätzt werden. Entscheidend ist, daß mit dem indirek-
ten Verfahren die Grundswingungsdauer auch dann noch
gemessen werden kann, wenn keine hinreichende dikrote
Welle im Pulsbild vorhanden ist (vgl. auch DUPONT u.
HILDEBRANDT 1971).

In diesem Zusammenhang sei noch einmal besonders auf die
Arbeiten von DUPONT (1970) und STREMPER (1971) verwie-
sen, zumal die Methode, die Grundswingungsdauer aus
der doppelten Pulswellenlaufzeit Herz-Fuß zu bestimmen,
auch zu einer Automatisierung des Auswertungsverfahrens
führen könnte.

2. Zu den Ergebnissen:

a) Vergleich mit den Ergebnissen der Literatur

aa) Ruhebefunde

Unsere Ergebnisse über die direkt gemessene arterielle Grundschwingung und ihr Verhältnis zur Herzperiodendauer stimmen mit denen der Literatur überein und bestätigen die von verschiedenen Untersuchern gewonnenen Erkenntnisse, nach denen der Quotient aus diesen Kreislaufgrößen überwiegend ganzzahlig ist. Dabei findet sich der Hauptgipfel des Quotienten bei 2,0 und bei 3,0 findet sich ein Nebengipfel bei ausgesprochen bradycard eingestellten Probanden (s. Abb. 5; HILDEBRANDT und Mitarb. 1959; GADERMANN und Mitarb. 1961; JUNGSMANN 1962; MILLAHN 1962; GADERMANN und JUNGSMANN 1964; GRIEGER 1966; KLEIN 1969; DUPONT 1969; JUNGSMANN und Mitarb. 1971, 1973).

Die Koordination dieser Rhythmen ist beim Trainierten deutlich strenger, wobei insbesondere beim Dauerleister mit ausgesprochener Bradycardie die Koordination in Ruhe besonders streng ist.

Bei Patienten mit kompensierten Aortenstenosen, die auf eine besondere Kreislaufoökonomie angewiesen sind, fand man eine straffe Koordination mit einer ausgeprägten Dikrotie des peripheren Pulses, wodurch dessen Amplitude wesentlich erhöht war. Die vom Herzen zur Verfügung gestellte Energie erfährt dabei eine optimale Ausnutzung durch das Arteriensystem (GADERMANN und JUNGSMANN 1963).

Es wird dies als Kennzeichen einer aktiven Regulation

des arteriellen Systems gewertet, die im Laufe des Lebens durch Elastizitätsverlust und Sklerosierung in zunehmendem Maße schwindet, so daß die Neigung zur Dekompensation auch von dieser Seite her zunimmt.

ab) Arbeitsbefunde

Während unsere Ergebnisse bezüglich der Koordination von Herzrhythmus und Grundschiwingung unter Ruhebedingungen weitgehend Übereinstimmung mit der Literatur zeigen, können unsere bei Arbeit erhobenen Befunde die Ergebnisse der Literatur nur bedingt bestätigen, soweit es sich nicht ohnehin um weitergehende Versuche unsererseits handelt.

MILLAHN und ECKERMANN (1966) haben während Arbeitsbelastungen und Beziehungen von Pulsperiodendauer und Grundschiwingungsdauer an der im Nebenschluß liegenden oberen Extremität beobachtet und gefunden, daß eine Koordination dieser Rhythmen im Verhältnis von 2 : 1 erfolgt.

Eine solche Messung der Grundschiwingungsdauer läßt nur einen bedingten Vergleich mit den von uns beobachteten Verhältnissen im longitudinalen Hauptsystem Herz - Fuß zu, jedoch hat schon KLEIN (1969) bei Messungen der Grundschiwingung an der oberen Extremität unter Arbeitsbelastung gezeigt, daß eine Lockerung der Koordination erfolgt, wie sie aufgrund theoretischer Vorstellungen von HILDEBRANDT (1963, 1966 zu erwarten ist.

JUNGSMANN u. Mitarb. (1971) haben als erste Pulskurven nicht nur im direkten Anschluß an körperliche Belastungen geschrieben, sondern auch unmittelbar während einer Armbelastung im Liegen. Dies scheint besonders wichtig,

da sich die Pulsfrequenz nach Arbeitsende bzw. bei Arbeitsunterbrechung innerhalb weniger Sekunden erheblich verändern kann, so daß nachträgliche Aussagen über die Verhältnisse während der Arbeit selbst unsicher sein müssen (vgl. GADERMANN u. Mitarb. 1966).

Zur Methodik von JUNGSMANN u. Mitarb. (1971) ist allerdings im Vergleich zu der von uns angewandten zu sagen, daß sich der Proband auf einer festen Liege befand, um auf dem Rücken liegend mit erhobenen Armen die Arbeit an der Kurbel zu leisten. In dieser Haltung konnte selbst von sportlich trainierten jungen Männern eine Handkurbelarbeit nur bei geringerer Belastung im steady-state bewältigt werden, wobei während der 5-minütigen Belastung ein durchschnittlicher Anstieg der Pulsfrequenz von 65 auf nur 85/min zu beobachten war.

JUNGSMANN u. Mitarb. (1971) haben bei ihren Untersuchungen ausnahmslos die direkte Bestimmung der Grundswingungsdauer angewandt. Dabei gelangten sie ebenso wie wir zu dem Ergebnis, daß sich die Grundswingung bei Arbeit signifikant verkürzt, um dann 4 Minuten nach Arbeitsende nahezu die Ausgangswerte wieder zu erreichen.

Hinsichtlich der während der Arbeitsbelastung gefundenen Quotienten der beiden Kreislaufparameter weichen nicht unsere Ergebnisse, sondern hauptsächlich deren Interpretation erheblich voneinander ab.

Das von JUNGSMANN u. Mitarb. (1971) untersuchte Probandenkollektiv bestand aus sportlich trainierten Studenten, bei denen nach allgemeiner Auffassung eine straffe Koordination von Herzrhythmus und Grundswingung vorausgesetzt werden darf. Der Gruppenmittelwert des Quotienten für die

Probanden eines solchen Kollektivs wird sich daher nicht allein um den ganzzahligen, die strenge Koordination ausdrückenden Wert 2,0 gruppieren, sondern er wird zwischen 2,0 und 3,0 liegen, da sich in einem Kollektiv sportlich trainierter Versuchspersonen auch solche mit Trainingsbradycardie befinden können, bei denen sich der Quotient ebenfalls im Sinne der Koordination um den ganzzahligen Wert 3,0 gruppiert.

Der Ruheausgangswert des Quotienten betrug bei JUNGSMANN u. Mitarb. (1971) 2,3, und bei einer Belastung von 30 W mit der Pulsfrequenz von 85/min wurde ein durchschnittlicher Quotient von 1,85 vorgefunden, der bei geringer Streuung noch als nahezu ganzzahlig im Sinne der rhythmischen Koordination gedeutet wurde.

Bei unseren weitergehenden Versuchen mit höherer Belastung und größerer Pulsfrequenz konnten wir dagegen zeigen, daß dieses Ergebnis von JUNGSMANN u. Mitarb. (1971) nur eine Durchgangsstufe des sich kontinuierlich verändernden Quotienten darstellen kann, wobei es unserem bei entsprechender Pulsfrequenz gefundenen Ergebnis durchaus entspricht.

3. Bedeutung der Koordination von Herzrhythmus und arterieller Grundschiwingung:

Nach Meinung aller Autoren liegt die Bedeutung der Koordination von Herzrhythmus und arterieller Grundschiwingung in einer ökonomischen Nutzung der vom Herzen durch den Blutausswurf dem Arteriensystem zur Verfügung gestellten Energie (HILDEBRANDT u. Mitarb. 1959; GADERMANN u. JUNGMANN 1961; MILLAHN 1962; MILLAHN und ECKERMANN 1966; GRIEßER 1966; HILDEBRANDT 1967; ECKERMANN 1969; u.a.). Bei ganzzahliger Abstimmung erfolgt der Blutausswurf phasengerecht zur stehenden Welle der arteriellen Resonanzschwiwing.

Auch nach unseren Versuchen muß es durchaus offen bleiben, inwieweit die mit steigender Arbeitsbelastung fortschreitende Veränderung des Quotienten aus Herzperiodendauer und arterieller Grundschiwingungsdauer einer neuen harmonischen Abstimmung zustrebt. Die sich in unseren Befunden darstellende asymptotische Annäherung an das Verhältnis 1,5 : 1 wirft die Frage auf, ob eine solche Abstimmung nicht gleichfalls ökonomisch-energetische Vorteile für die Kreislauffunktion bringt, da hierbei jeder zweite Herzschlag phasengerecht mit der arteriellen Grundschiwingung erfolgen kann. Nach den Modellversuchen von ECKERMANN (1969) wäre das nächste wirksame Maximum an Energieeinsparung erst bei einem Quotientwert von 1 : 1 zu erwarten, wobei die Herzschlagfrequenz den Bereich von 200/min erreichen müßte, da eine Verkürzung der arteriellen Grundschiwingungsdauer unter 300 msec schon aus anatomischen Gründen kaum möglich erscheint (KAPAL u. Mitarb. 1951).

Von HILDEBRANDT (1963, 1967) wurde besonders herausgestellt, daß ganz allgemein bei einer trophotropen Einstellung des Organismus die Abstimmung der rhythmischen Funktionsordnung im Sinne von Frequenz- und Phasenkoordination intensiviert wird, während Leistungsanforderungen mit ergotroper Umstellung

der vegetativen Regulationen zu einer Abschwächung bzw. Auflösung der Koordinationen führen.

Nach solchen Vorstellungen wäre es zunächst nicht zu erwarten, daß es bei Maximalbelastungen wieder zu einer harmonischen Abstimmung von Herzrhythmus und arterieller Grundschwung kommen wird. HILDEBRANDT u. DAUMANN (1965) haben allerdings zeigen können, daß bei maximaler Auslastung funktioneller Systeme mit erschöpfender Leistung durch die volle Ausnutzung der bauplangebundenen Kapazitäten wiederum harmonische Koordinationen hervortreten können, die dann allerdings nicht im Sinne einer aktiven Koordinationsleistung gewertet werden können. Hinsichtlich der Koordination von Herzrhythmus und arterieller Grundschwung bedarf es zur Lösung dieser Problematik noch weiterer Untersuchungen, wobei sich insbesondere auch die Frage stellt, inwieweit die Dauerleistungsgrenze durch die ganz-zahlige Koordination als Grenzkriterium mitbestimmt wird.

Die von JUNGSMANN u. Mitarb. (1971) gefundene Intensivierung des Dikrotus während der Arbeit weist darauf hin, daß durch die erhöhte Blutdruckamplitude eine wesentliche Verstärkung der Grundschwung erfolgt. Die Auswirkung dieser verstärkten arteriellen Grundschwung und eine mögliche Beeinflussung der Herzdynamik durch diese konnten noch nicht Aufgabe dieser Arbeit sein, da wir aus technischen Gründen die dazu notwendigen Kreislaufgrößen nicht ermitteln konnten.

Überdies haben wir für die Grundschwung hier lediglich die Verhältnisse im longitudinalen Hauptsystem Herz - Fuß untersucht, ohne die Auswirkungen auf die in den Armen unter anderen Resonanzbedingungen stehende Grundschwung, die ein eigenes System darstellt, zu berücksichtigen (WEZLER und BÖGER 1939; GREVEN und FEDER-SCHMIDT 1939; BLEICHERT u. Mitarb. 1953). Tagesrhythmische Untersuchungen haben jedoch ergeben, daß das Verhältnis zwischen der Grundschwungsdauer beider Systeme konstant ist (KLEIN 1969).

V. Zusammenfassung

An 21 männlichen Versuchspersonen im Alter von 17,5 bis 23 Jahren wurde bei im Sitzen ausgeführter Handkurbelarbeit durch Messung von Herzperiodendauer und arterieller Grundschwingungsdauer die Koordination von Herzrhythmus und stehender Welle im arteriellen System untersucht. Die Dauer der arteriellen Grundschwingung wurde nicht nur direkt den geschriebenen Pulskurven entnommen, sondern auch indirekt aus der doppelten Pulswellenlaufzeit Herz-Fuß bestimmt. Die Werte für die doppelte Pulswellenlaufzeit waren dabei im Mittel 5,1 % länger als die der direkt gemessenen Grundschwingungsdauer, was darauf hinweist, daß der periphere Reflexionsort der Grundschwingung proximal der Abnahmeorte des Fußpulses liegt.

Die Probanden wurden im Anschluß an eine Ruhemessung in 10-Watt-Stufen von je 4 min Dauer bis zu 50 Watt belastet, wobei im steady state Pulsfrequenzen bis zu 120/min erreicht wurden. Während unter Ruhebedingungen die charakteristische Bevorzugung ganzzahliger Quotientenwerte aus Herzperiodendauer und arterieller Grundschwingungsdauer gefunden wurde, führte die kontinuierlich gesteigerte Arbeitsbelastung zu einem fortschreitenden Rückgang der Quotienten, die sich asymptotisch dem Bereich von 1,5 annäherten. Eine auch nur vorübergehende Konzentration der Werte auf ganzzahlige Verhältnisse war dabei nicht festzustellen. Unter dem Vorbehalt, daß die Einstellung eines Verhältnisses von Herzperiodendauer und arterieller Grundschwingungsdauer auf den Wert 1,5 : 1 zu einem ökonomischen Effekt führen kann, da hier jeder zweite Herzschlag phasengerecht zur stehenden Welle im arteriellen System erfolgt, wird aus den Ergebnissen geschlossen, daß körperliche Arbeit zu einer Abschwächung bzw. Auflösung der untersuchten Koordination führt.

VI. Literaturverzeichnis

=====

Bleichert, A., R. Lezgus und F. Martini:

Über die Länge der stehenden Welle in der Arm-
arterie des Menschen.

Z. Biol. 105, 141 - 155 (1953)

Blumberger, Kj.:

Die Untersuchung der Dynamik des Herzens beim
Menschen.

Ergebn. inn. Med. Kinderheilkunde

62, 424 - 531 (1942)

Brecht, K., und H. Boucke:

Neues elektrostatisches Tiefton-Mikrophon und
seine Anwendung in der Sphygmographie.

Pflügers Arch. ges. Physiol.

256, 43 (1952)

Documenta Geigy:

Wissenschaftliche Tabellen

7. Auflage

1968 Basel

Dupont, W.:

Untersuchungen über die Bedeutung der Koordination
von Herzrhythmus und arterieller Grundschwingung an
Gesunden und jugendlichen Hypertonikern.

Med. Inaug. - Diss. Marburg/Lahn 1969

Dupont, W. und G. Hildebrandt:

Messungen der Pulswellenlaufzeit Herz - Fuß zur
Beurteilung der Koordination von Herzrhythmus
und arterieller Grundschiwingung bei Gesunden und
jugendlichen Hypertonikern.

Z. Kreisl.- Forsch. 60, 986 - 993 (1971)

Eckermann, P.:

Untersuchungen an einem Kreislaufmodell mittels
Analogrechner.

Med. Inaug. - Diss. Rostock 1969

Frank, O.:

Der Puls in den Arterien.

Z. Biol. 46, 441 - 554 (1905)

Gadermann, E., G. Hildebrandt und H. Jungmann:

Über harmonische Beziehungen zwischen Pulsrhythmus
und arterieller Grundschiwingung.

Z. Kreisl. - Forsch. 50, 805 - 814 (1961)

Gadermann, E., und H. Jungmann:

Klinische Arterienpulsschreibung, Lehrbuch und Atlas
der unblutigen Sphygmographie.

Johann Ambrosius Barth, München, 1964

Gadermann, E., A. Metzner und H. Jungmann:

Trainingseffekte am Arterienpuls.

Sportarzt 7, 8 (1966)

Greven, K., und H. Federschmidt:

Untersuchungen zur Hämodynamik der kleineren
und kleinsten Arterien.

Pflügers Arch. ges. Physiol.

242, 617 - 643 (1939)

Grieger, F.:

Das Verhältnis von Pulsperiodendauer zur Dauer
der arteriellen Grundschwingung bei der arteri-
ellen Hypertoniekrankheit.

Z. ges. inn. Med. 21, 338 - 343 (1966)

Henrysson, St. O.W. Haseloff und H.J. Hofmann:

Kleines Lehrbuch der Statistik.

Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1960

Hildebrandt, G.:

Störungen der rhythmischen Koordination und
ihre balneotherapeutische Beeinflussung.

Z. angew. Bäder- und Klimaheilk.

10, 402 - 420 (1963)

Hildebrandt, G.:

Leistung und Ordnung. Physiologische Gesichtspunkte und Rehabilitationsforschung.

Med. Welt 17, 2732 - 2740 (1966)

Hildebrandt, G.:

Die Koordination rhythmischer Funktionen beim
Menschen.

Verh. dtsch. Ges. Innere Medizin

73, 922 - 941 (1967)

Hildebrandt, G., und F.-J. Daumann:

Die Koordination vom Puls- und Atemrhythmus bei Arbeit.

Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arb. physiol.
21, 27 - 48 (1965)

Hildebrandt, G., H. Jungmann und L. Steinke:

Über die Beeinflussung koordinativer Leistungen durch Bäder- und Klimakuren.

Z. angew. Bäder- und Klimaheilk.
6, 126 - 133 (1959)

Holldack, K.:

Phonokardiographie in der Herzdiagnostik.

Ärzt. Wschr. 6, 649 - 654 (1951)

Hollmann, W.:

Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung.

Darmstadt: Dietrich Steinkopff 1959

Jungmann, H.:

Kritisches zur Pulswellenregistrierung und ihrer Auswertung.

Zsch. f.d. ges. exper. Med.
122, 60 - 75 (1953)

Jungmann, H., E. Heyken und M. Hinz:

Der Arterienpuls während und nach körperlicher Belastung.

Zschr. f. Kreisl. - Forsch.
60, 232 - 239 (1971)

Jungmann, H., U. Claus, G. Maurer und P. Probst:

Beziehungen zwischen Herzaktion und Arterienfunktion bei Hypertonie und Arteriosklerose
Z. f. Kardiologie 62, 113 - 123 (1973)

Kapal, E., F. Martini und E. Wetterer:

Über die Länge der stehenden Welle im arteriellen System des Menschen.
Z. Biol. 104, 256 - 284 (1951)

Kapal, E., F. Martini, H. Reichel und E. Wetterer:

Über die Länge der stehenden Welle bei künstlicher Verkürzung des Arteriensystems.
Z. Biol. 104, 429 - 444 (1951)

Klein, H.:

Tagesrhythmische Untersuchungen über die Koordination von Herzrhythmus und arterieller Grundschwingung.
Med. Inaug. - Diss. Marburg/Lahn 1969

Millahn, H.P.:

Das Verhältnis von Pulsperiodendauer zur Dauer der arteriellen Grundschwingung bei Jugendlichen.
Z. Kreisl. - Forsch. 51, 1155 - 1159 (1962)

Millahn, H.P. und P. Eckermann:

Das Verhältnis von Pulsperiodendauer zur Dauer der arteriellen Grundschwingung.
Pflügers Arch. ges. Physiol.
289, 96 (1966)

Strempel, H.:

Über die Veränderungen der isotonischen und isometrischen Kontraktionsphase des menschlichen Herzens bei körperlicher Arbeit.

Med. Inaug. - Diss. Marburg/Lahn 1971

Wezler, K., und A. Böger:

Die Dynamik des arteriellen Systems.

Der arterielle Blutdruck und seine Komponenten.

Ergebn. Physiol. 41, 292 - 606 (1939)

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten

in Köln: Fehér, Jaumann, Kirchner, Kuhr, Kummer, Ortmann;

in Marburg: Dimroth, Bammer, Gedigk, Janke, Heuser, Hennis, Hering, Hildebrandt, Karlson, Koransky, Korb, Lang, Mahr, Mann, Niemeyer, Pantke, Petry, Pfütz, Rodeck, Rohen, Rosemann, Salfeld, Schiff, Schmid, Schmidt, Schmitz-Moormann, Seidel, Siegert, Staib, Strohmeier, Vogt, Walcher, Zilliken.

Lebenslauf

Am 28.11.1944 wurde ich in Wohlau/Schlesien als Sohn des Kaufmanns Wolfgang Nitschke und seiner Ehefrau Thea geb. Schoenwaldt geboren.

Nach der Flucht im Frühjahr 1945 kam ich mit meinen Eltern nach Oberhausen/Rhld. Dort besuchte ich ab Ostern 1951 die St. Antonius Volksschule und ab 1955 das Staatl. Gymnasium. 1960 zogen meine Eltern nach Schwenningen/N., wo ich das Gymnasium besuchte und am 24.3.1964 die Reifeprüfung bestand.

Im Sommersemester 1964 nahm ich das Studium der Zahnheilkunde in Köln auf. Ab Wintersemester 1964 studierte ich dann in Marburg weiter, wo ich im Sommersemester 1967 das Physikum und am 16.12. 1969 das Staatsexamen bestand.

Nach dem Staatsexamen war ich Assistent an der Zahnklinik in Marburg und leistete dann einen dreimonatigen Grundwehrdienst am Bundeswehrkrankenhaus Bad Zwischenahn ab. Danach arbeitete ich noch drei Jahre als Assistent in freier Praxis, bis ich mich am 1.4.1975 in Schwenningen/N als Zahnarzt niederließ.

1973 heiratete ich die Lehrerin Marlies Telöken aus Oelde. Inzwischen haben wir einen Sohn.

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die der Medizinischen Fakultät
Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel:

Untersuchungen über die Koordination von Herzrhythmus
und arterieller Grundschwungung bei dosierter Körperarbeit mit
direkter und indirekter Bestimmung der Grundschwungungsdauer

im Institut für Arbeitsphysiologie und Rehabilitationsforschung unter
Leitung von Herrn Prof. G. Hildebrandt

ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der
Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfs-
mittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- und ausländischen Medizinischen
Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch
die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Marburg, den

Herrn Prof. Dr. med. G. Hildebrandt danke ich für die Überlassung des Themas, und auch ganz besonders für seine Anregungen und seine Kritik, die wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beitrugen.

